



Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder

Petersen, Jens Kjerulf; Nielsen, Carsten Fomsgaard; Nørgaard, Jan Værum; Steinfeldt, Sanna; Fitridge, Isla

Publication date:
2015

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Petersen, J. K., Nielsen, C. F., Nørgaard, J. V., Steinfeldt, S., & Fitridge, I. (2015). *Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder*. Dansk Skaldyrcenter, Institut for Akvatiske Ressourcer. DTU Aqua-rapport No. 296-2015
http://www.aqua.dtu.dk/Publikationer/Forskningsrapporter/Forskningsrapporter_siden_2008

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder



DTU Aqua-rapport nr. 296-2015

Af Jens Kjerulf Petersen, Carsten Fomsgaard,
Jan Værum Nørgaard, Sanna Steinfeldt
og Isla Fitridge

Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder

DTU Aqua-rapport nr. 296-2015

Af Jens Kjerulf Petersen, Carsten Fomsgaard, Jan Værum Nørgaard, Sanna Steinfeldt og Isla Fitridge

Projektet er finansieret af:



Den Europæiske Fiskerifond:
Danmark og Europa investerer i bæredygtigt fiskeri og akvakultur

Ministeriet for Fødevarer,
Landbrug og Fiskeri



Den
Europæiske
Fiskerifond

Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder

DTU Aqua-rapport nr. 296-2015

November 2014

Af Jens Kjerulf Petersen, Carsten Fomsgaard, Jan Værum Nørgaard, Sanna Steinfeldt og Isla Fitridge

Reference: Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder. J. K. Petersen, C. Fomsgaard, J. V. Nørgaard, S. Steinfeldt & I. Fitridge. DTU Aqua-rapport nr. 296-2015. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 28 pp

Forsidefoto: Høstede linemuslinger klar til videre processering

Udgivet af: Dansk Skaldyrcenter, Institut for Akvatiske Ressourcer, Ørøddevej 80, 7900 Nykøbing

Rekvireres: www.aqua.dtu.dk/publikationer

ISSN: 1395-8216 (elektronisk udgave)

ISBN: 978-87-7481-206-7 (elektronisk udgave)

Forord

Denne rapport omhandlende "Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder" er et resultat af et samarbejde mellem Dansk Skaldyrcenter, Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet (Jens Kjerulf Petersen, Carsten Fomsgaard, Isla Fitridge) og Institut for Husdyrvidenskab, Aarhus Universitet (Jan Værum Nørgaard, Sanna Steinfeldt) samt Vilsund Blue a/s. Dansk Skaldyrcenter har været hovedansvarlig for gennemførelse af projektet.

Projektet er gennemført med finansiell støtte fra EU Den Europæiske Fiskerfond, Fødevareministeriets Fiskeriudviklingsprogram og Vækstforum, Region Nordjylland.

Alle offentliggjorte projektrapporter fra Dansk Skaldyrcenter, DTU Aqua kan hentes i elektronisk form på Dansk Skaldyrcenters hjemmeside www.skaldyrcenter.dk eller på DTU Aquas hjemmeside www.aqua.dtu.dk/Publikationer

Originale tekster og illustrationer fra denne rapport må gengives til ikke-kommercielle formål under forudsætning af tydelig kildeangivelse.

Henvendelse vedrørende denne rapport kan ske til:

Dansk Skaldyrcenter, DTU Aqua
Øroddevej 80
7900 Nykøbing Mors
Tlf. 96 69 02 83
skaldyrcenter@aqua.dtu.dk
www.skaldyrcenter.dk

Nykøbing Mors, november 2014

Forfatterne

Indholdsfortegnelse

1.	Baggrund	7
2.	Ernæringsmæssig værdi af muslinger	9
2.1	Produktion af muslingemel og ensilage	9
2.2	Kemisk evaluering af næringsstofindhold	9
2.3	Forsøg med grise	11
2.3.1	Fordøjelighedsforsøg med grise	11
2.4	Forsøg med fjerkræ	13
2.4.1	Produktionsforsøg på fjerkræ	13
2.4.2	Fordøjelighedsforsøg på fjerkræ	15
2.5	Konklusioner om muslinger som foder	16
2.6	Perspektiver for muslinger som foder	16
3.	Produktion af mel	17
3.1	Adskillelse af kød og skal	17
3.1.1	Beregning af omkostninger ved melproduktion	19
3.2	Produktion af mel af hele muslinger	20
3.3	Perspektiver for produktion af mel	21
4.	Optimering af dyrkningsteknikker	22
4.1	Rør- og netbaserede opdrætsanlæg	22
4.1.1	Biomasse og længde af muslinger	23
4.1.2	Høst fra net	25
4.1.3	Konklusion	26
4.2	Alternativt opdriftssystem	26
4.3	Perspektiver for opdrætsmetoder	27
5.	Referencer	28

Resumé

I projektet blev den ernæringsmæssige værdi af muslinger som foderingrediens analyseret ved forsøg med grise og fjerkræ. Der blev lavet test med såvel muslingemel og muslingeensilage. Derudover blev der undersøgt muligheden for at optimere dyrkningsteknikkerne.

Råprotein-indholdet og fedtindhold i muslingemelet var på henholdsvis 57% og 15%, mens ensilagen havde et indhold på 17% og 5%. Analyserne viste en høj andel af ren protein og muslingernes aminosyresammensætning lå tæt på fiskemel.

Forsøg med grise viste, at der ikke var problemer med at få grisene til at spise foderblandingerne med muslinger og fordøjeligheden af råprotein og aminosyrer var højere end for kontrol foderblandingen med fiskeprotein. Foderblandinger med muslingeensilage gav den bedste fordøjelighed. Samlet set viser forsøgene, at der er et klart potentiale for muslinger som proteinkilde til grise.

Forsøg med fjerkræ viste, at alle foderblandingerne med muslinger gav en god æglægningsprocent, ikke forskelligt fra resultaterne med kontrolfoder med fiskemel. Der blev heller ikke fundet forskelle på skalstyrke, brudpunkt eller æggeghidernes tørstof indhold alt efter hvilken foderblanding der blev givet. Jo højere andel af muslinger, der var i foderblandingerne jo mørkere og mere rødfarvede blev blommerne. I en forbrugerundersøgelse lavet i forbindelse med forsøgene var det æg fra fjerkræ fodret med fiskemel eller laveste andel muslingemel, der klarede sig bedst. Undersøgelsen viste dog, at der var store forskelle i præferencerne for æg både hvad angår blomfefarven og smag. Fordøjelighedsforsøg på fjerkræ viste, at foderblandinger med muslinger generelt klarede sig bedre end kontrol foderblandinger med fiskemel. Dette indikerer, at muslingemel har en høj værdi som protein og methioninkilde til æglæggende høner.

Forsøg med adskillelse af muslingekød fra skaller viste, at forbehandling især declumpning af muslingerne er meget vigtig, for at opnå en effektiv udnyttelse af muslingerne. Generelt var udnyttelsen, mængden af muslingekød fra forsøgene lavere end forventet og i nogle tilfælde var der meget muslingekød i affaldsdelen. Omkostningerne til produktion af mel er i projektet beregnet til mellem 14-18 kr. pr. kg mel lavet af muslingekød og 4,2 kr. pr. kg mel lavet af hele muslinger. Den væsentligste del af omkostningerne er dyrkningen af muslingerne. Hvis omkostninger til produktionen af muslinger helt eller delvist subventioneres i forbindelse med at bruge muslingerne som virkemiddel eller som kompensationsopdræt, vil det være muligt at sænke råvareomkostningerne og prisen på muslingemel kan herved blive konkurrencedygtig med andre foderingredienser af tilsvarende kvalitet.

Forsøg med optimering af dyrkningssystemer bestod af test af SmartFarm™ systemer og alternative opdriftssystemer. I forsøgene blev det vist, at SmartFarm™ systemet kan producere rimelige biomasser i Limfjorden, men grundet varierende rekruttering, lav vanddybde, fysiske påvirkning og vanskelige høstforhold var det svært at styre og det vil kræve modifikationer og forstærkninger af systemet, hvis det skal være anvendeligt i Limfjorden. Forsøg med nyproducerede bøjer viste, at det udvalgte materiale og princippet i længere oppustelige bøjer fungerede, men i forbindelse med nedsækning virkede systemet ikke. Dermed blev der i projektet ikke fundet omkostningsreducerede teknikker velegnet til muslingeproduktion i Limfjorden.

Summary

In this project, the nutritional value of mussels as a feed ingredient was analyzed by experiments on pigs and poultry. Tests were made with both mussel meal and mussel silage. In addition, we examined the possibility of optimizing cultivation techniques.

Crude protein content and fat content of mussel meal was 57% and 15% respectively, while the mussel silage had a content of 17% and 5% respectively. The analyses showed a high proportion of pure protein, and an amino acid composition close to that found in fish meal.

Experiments on pigs showed that there was no problem getting the pigs to eat the feed mixes containing mussels, and the digestibility of crude protein and amino acids was higher than for the control feed composed of fish protein. Incorporation of mussel silage gave optimum digestibility. Taken together, the experiments show a clear potential for mussels as a protein source for pigs.

Experiments with poultry showed that all of the feed mixes with mussels gave a good egg laying percent, which did not differ from the results with the control diet composed of fish meal. There were also no differences in shell strength or the egg white solid content depending on the feed formula given. A high mussel content in the feed produced darker and more red-colored yolks. In a consumer survey conducted in the context of the trials, eggs of poultry fed with fishmeal or the lowest proportion of mussel meal performed best. The study showed that there were significant differences in preferences for eggs both in yolk color and flavor. Diets containing mussels were generally more easily digested by poultry than the control feed composed of fish meal. This indicates that mussel meal has a high value as a protein and source of amino acids such as methionine for laying hens.

Experiments on mussel production prior to mussel meal production showed that pre-treatment, especially declumping of the mussels, is very important to achieve an efficient use of the mussels. The separation of mussel meat from mussel shells was problematic, and the amount of mussel meat produced was below expectations. In some cases there was a high proportion of mussel meat ending up as waste. The cost of production of mussel meal in the project was calculated to be between 14-18 kr. per kg meal if made from mussel meat alone, and 4.2 kr. per kg meal if produced from whole mussels. The main part of the cost of production of meal is in the cultivation of mussels. If the cost of production of mussels was fully or partially subsidized in connection with using the mussels as a tool to mitigate nutrient overloads in the fjord, it will be possible to lower raw material costs and the price of mussel meal can thus be competitive with other feed ingredients of similar quality.

Experiments on optimization of cropping systems consisted of testing SmartFarm™ systems and alternative buoyancy systems. In the experiments, it was shown that SmartFarm™ system can produce reasonable mussel biomass, but due to variability in recruitment, low water depth, predation and challenging conditions it was difficult to manage, requiring modifications and enhancements of the system if it is to be useful in the fiord. Experiments with new inflatable buoys showed that the selected material and the principle of long inflatable buoys worked, but the ability to immerse them failed. Therefore the project could not find suitable cost reduction techniques for mussel production in Limfjorden.

1. Baggrund

Fødevarereproduktionen står både i Danmark og internationalt over for et paradoks: På den ene side er der et stigende behov for næringsstoffer i form af fx proteiner til fødevarer og foder, på den anden side er tabet af næringsstoffer fra produktionen i både akvakultur og landbrug til det marine miljø en større og større hindring for, at en øget produktion kan realiseres. Dels fordi tabet har nogle miljømæssige konsekvenser, som ud fra et natur- og miljøforvaltningsperspektiv anses for at være uacceptable, dels fordi næringsstoffer som fosfor og kvælstof er henholdsvis en svindende ressource eller energetisk omkostningsfulde at udvinde.

Opdræt i akvakultur af arter i den nedre del af fødekæden, fx muslinger og tang, kan være en del af løsningen på dette paradoks. Ved opdræt af disse arter skal der ikke tilføres næringsstoffer eller foder til vækst af organismene og ved høst sker der dermed en netto fjernelse af næringsstoffer fra det marine miljø og en re-cykling af næringsstofferne tilbage til land. Opdræt af muslinger har derudover nogle yderligere positive effekter på vandmiljøet, fordi de via deres fødeoptagelse filtrerer vandet for planteplankton og andre mikroskopiske partikler og dermed øger vandets klarhed. Øget klarhed af vandet baner vej for udbredelse af vigtige, strukturbærende bundplanter som fx ålegræs. Det er således i nyere forskning (Petersen et al 2014, Petersen et al 2013) demonstreret, at opdræt af muslinger kan være et effektivt virkemiddel til opnåelse af vandplanernes målsætninger for kystvandenets miljøtilstand ved at kompensere for tabet af næringsstoffer fra landbrugsproduktionen.

Samtidig mangler husdyrproduktionen i både Danmark og i andre lande i Europa i høj grad bæredygtige proteinkilder og står således over for betydelige udfordringer, hvis der skal være en fortsat øget vækst i sektoren. Pt. anvendes fiskemel som standard i husdyrfoder, da aminosyresammensætningen er god for både fjerkræ og svin, men fiskemel er en begrænset ressource til anvendelse i husdyrfoder. Mel fremstillet af muslinger kan være et alternativ til fiskemel, da muslingekød har et højt indhold af protein og essentielle aminosyrer. Da muslingernes føde primært består af mikroalger, indeholder muslinger carotenoider, der, når muslinger fodres til æglæggende høns, kan overføres til æggeblommen og dermed påvirke blommefarven, hvilket har betydning for mange forbrugere. Disse karakteristika gør muslinger til et yderst interessant alternativ til fiskemel og andre højværdi proteinkilder i foder til fjerkræ og svin både ud fra et produktions-, ernærings- og kvalitetsmæssigt synspunkt for både konventionel og økologisk produktion. Det er i denne sammenhæng især af betydning, at muslinger kan opdrættes økologisk uden at det i væsentlig grad påvirker produktionsomkostningerne.

På grund af et manglende udbud af økologiske proteinkilder, er kravet om 100% økologiske råvarer dispenseret indtil 31/12 2014, dog er der indikationer på yderligere udsættelse af fuld implementering af kravet. Med dispensationen er det tilladt at inkludere konventionelle fodermidler i op til 5% af blandingen. Forbuddet understreger, uanset hvornår det bliver implementeret, nødvendigheden af at finde alternative højkvalitets proteinkilder. Det er dog ikke kun selve størrelsen af den økologiske produktion, der er under pres pga. manglende proteinkilder. Økologiske foderblandinger indeholder mere protein end foder til konventionelle dyr. Dette skyldes, at minimumskravene til aminosyrer i foderet i mangel på alternativer bliver opfyldt af aminosyreindholdet fra lavkvalitets proteinkilder. Konsekvensen ved overforsyning med protein er større kvælstofudledning, øget forekomst af diarre i besætningerne og dårligere produktionsresultater. Omvendt kan underforsyning med blot en enkelt af de 20 aminosyrer medføre samme negative effekter som ved overforsyning med protein. Hos fjerkræ kan uheldig adfærd, som fx fjerpilning, udløses ved sub-optimal næringsstofforsyning og kan være et stort økonomisk problem for producenten, hvis det medfører

kannibalisme. Det er ligeledes kendt, at underforsyning af essentielle aminosyrer, især methionin, kan påvirke ægproduktion og ægkvalitet (Hammershøj and Steenfeldt, 2005).

De væsentligste udfordringer for at anvende muslinger i husdyrproduktionen er at teste om den teoretiske ernæringsværdi holder i praksis og fremstille fodertilskud af muslinger til en pris, der er konkurrencedygtig med andre proteinkilder. I denne sammenhæng er især adskillelse af kød fra skal en udfordring, fordi kun de færreste dyrearter, muligvis undtaget fjerkræ, kan tåle et så højt indhold af uorganisk materiale i foderet, som kalkindholdet i muslingeskallerne udgør af hele muslingen.

Opdræt af muslinger er i Danmark et nyt erhverv der har eksisteret i mindre end 10 år. Erhvervet har gennemlevet en periode med kraftig ekspansion i både antal opdrætslicenser og produktionsvoluminer omkring midten af sidste årti og et stort fald i produktionen i kølvandet på finanskrisen. Erhvervet er i dag reduceret i antal udøvere og indtjeningen har i en årrække været utilfredsstillende. For den tilbageværende del af erhvervet er produktion af ferske konsummuslinger den primære aktivitet og indtægtskilde. Produktion af muslinger til anden anvendelse, fx foderbrug, har imidlertid nogle perspektiver for erhvervet. For de etablerede producenter vil en produktion til foderbrug kunne udgøre en supplerende indkomst og øge mulighederne for kapacitetsudnyttelse og stordrift. Alternativt vil specialiserede producenter kunne udvikle en niche møntet på produktion af muslinger som virkemiddel med primær afsætning af muslingerne til anden anvendelse end human konsum. Det vil under alle omstændigheder kræve en betydelig udvidelse af produktionen i forhold til det eksisterende niveau.

Med de allerede udstedte licenser vil produktionen af muslinger forholdsvis simpelt kunne forøges med i størrelsesordenen 30-50.000 t muslinger om året alene i Limfjorden. Det vil svare til en 20-dobling af den aktuelle produktion. Dertil kommer udnyttelse af licenser i resten af landet. Realisering af produktionspotentialer vil afhænge af, om muslinger anvendes som virkemiddel og/eller om produktionen af muslingemel kan gennemføres til priser, der er konkurrencedygtige med andre proteinkilder. Da muslingeproduktion forholdsvis simpelt kan gøres økologisk uden betydelige meromkostninger, og da økologisk foder kan opnå højere afregningspriser, er det muligt, at en økologisk foderproduktion vil kunne hvile i sig selv. En forudsætning er dog, at produktionsomkostningerne reduceres gennem effektiviseringer på vand og i forarbejdningen, her især separationen af kød fra skal i kogerierne. Derudover er det en forudsætning at muslingernes ernæringsmæssige værdi rent faktisk gør dem egnede som fodertilskud i husdyrproduktion.

Det er formålet med dette projekt at skabe viden med henblik på at udvikle brug af muslinger som fodertilskud til høns og svin. Specifikt er det formålet at optimere opdræt af muslinger i fjorde, optimere forarbejdningen og undersøge det biologiske grundlag for brug af muslinger som fodertilskud til høns og svin.

2. Ernæringsmæssig værdi af muslinger

Centralt for en egentlig udvikling af en industri, der kan forarbejde muslinger til foderingrediens er, at muslingeprodukter er egnede til anvendelse i husdyrbrug. Fordøjeligheden er den helt afgørende parameter for et fodermiddels anvendelse. Sammen med den kemiske sammensætning af især aminosyrer og mineraler udgør fordøjeligheden de nøgleparametre, der anvendes, når foderblandinger skal optimeres. Til analyse af brug af muslinger som foderingrediens blev der gennemført analyse af muslingemel og muslingeensilage og fordøjeligheden blev undersøgt. Derudover blev der gennemført produktionsforsøg med fjerkræ. Der er til forsøgene udelukkende anvendt muslingekød og ikke et blandet produkt indeholdende skal.

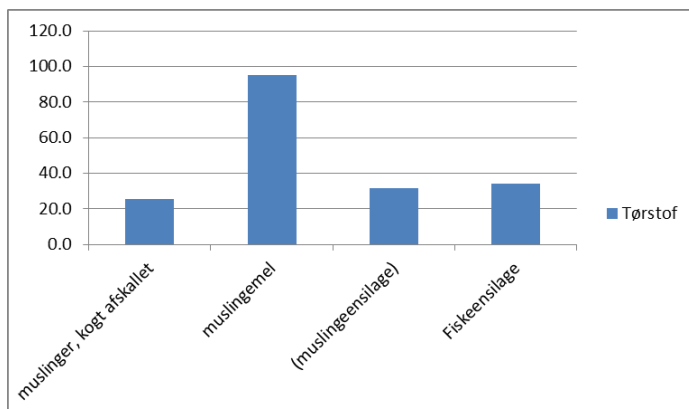
2.1 Produktion af muslingemel og ensilage

Muslinger fra kompensationsopdræt i Skive Fjord marts 2013 blev afskallet ved kogning hos Vildsund Blue i Nykøbing Mors. Halvdelen af de afskallede muslinger blev tørret ved 85 grader og lavet til mel i Sverige, og den anden halvdel blev lavet til muslingeensilage på Foulum, hvor de frosne muslinger blev hakket, tilsat 2,5% myresyre og lagret ved 18°C under omrøring i 3 uger. Muslingeensilagen blev fremstillet efter samme forskrifter, som anvendes til produktion af fiskeensilage. Muslingeensilagen indgik kun i forsøgene med svin, hvorimod muslingemelet blev evalueret til både svin og fjerkræ.

2.2 Kemisk evaluering af næringsstofindhold

Der blev udtaget 2 prøver af hver proteinkilde og hver foderblanding og disse blev analyseret i 2 gentagelser. Muslingeensilagen blev desuden analyseret hver uge for at se, om der skete ændringer i råprotein og aminosyrer over tid. Der var dog ingen tidsmæssige forskelle i det kemiske indhold af muslingeensilagen fra uge til uge og derfor anvendes gennemsnittet over tid af disse analyser. Proteinkilderne blev analyseret ved hjælp af standardmetoder for tørstof, aske, råprotein (kvælstof/N x 6,25), aminosyrer inkl. tryptofan, fedt, fedtsyrer, fosfor, calcium, natrium, klorid, og syre-uopløseligt aske (sand).

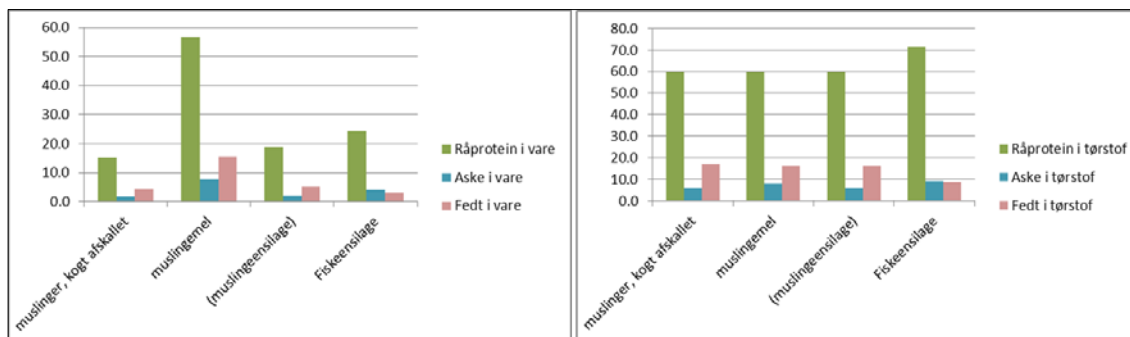
Analyserne af proteinkilderne baseret på afskallede muslinger viste et lovende potentiale som proteinkilde til både svin og fjerkræ. Muslingemel og -ensilage havde et tørstofindhold på henholdsvis 95 og 30% (Figur 2.1), og på tørstofbasis var der ikke forskel mellem produkterne. De kogte afskallede muslinger havde et tørstofindhold på 25% og det lave tørstofindhold er den største udfordring for anvendelse som fodermiddel i husdyrproduktionen, fordi muslingerne vil kræve en omgående processering for at sikre holdbarheden. Muslingemelet er tørt og dermed lagerfast, hvorimod muslingeensilagens lave pH sikrer god holdbarhed trods højt vandindhold. Således har de kommercielle fiske-ensilager med tilsvarende pH værdi og tørstofindhold på 39-50% et deklareret holdbarhed på mindst 12 måneder.



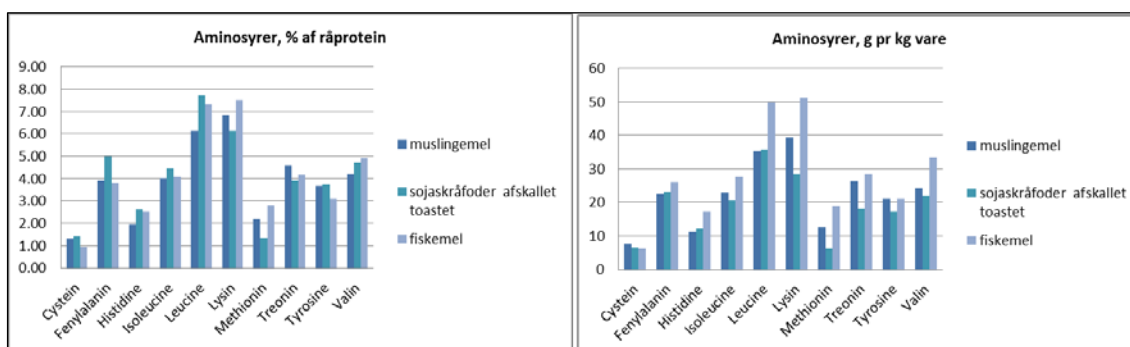
Figur 2.1. Indhold af tørstof i råvarer.

Melet havde et råprotein- og fedtindhold på 57 og 15% og ensilagen hhv. 17 og 5% (figur 2.2). Et relevant spørgsmål er, hvor meget af det ellers høje råproteinindhold, der er aminosyrer. Der blev analyseret for 17 af de 20 aminosyrer, og summen var for alle produkterne mellem 84 og 86% af råproteinet, hvilket indikerer en høj andel ren protein. Når der fokuseres på de 10 essentielle aminosyrer var ratio i forhold til råprotein på 0,43-0,44 for muslingerne og 0,38 for fiskeensilagen. Dermed viser analyserne ikke nogen ændring i aminosyreprofilen for muslinger som følge af henholdsvis tørring til mel eller ensilering. Muslingernes aminosyreprofil lå tættere på fiskemel end sojaskrå (figur 2.3).

Askeindholdet i muslingerne var på tørstofbasis lidt lavere end i fiskeensilage og analyserne viste at der ikke var sand i produkterne. Indholdet af P var 0,8%, Ca 0,9%, Na 1,6% og P 2,1% i melet og omkring en tredjedel af dette i ensilagen tilsvarende forskellen i tørstof.



Figur 2.2. Indhold af råprotein, råaske og råfedt i råvarerne (venstre) og i råvarernes tørstof (højre).



Figur 2.3. Aminosyreprofil (venstre) og aminosyreindhold (højre) i muslingemel og til sammenligning i sojaskrå og fiskemel.

I forsøget blev muslinger høstet i marts, hvor muslinger kan have modne gonader, som kan forklare en del af de høje koncentrationer af råprotein og fedt. Den høje koncentration af fedt i muslinger kan medføre risiko for oxidering af fedtsyrerne under langtidslagring. Et mål for fedtkvaliteten er fedtets jodtalsprodukt, der er en kvalitetsindikator for fedt i svinefoder. Jodtalsproduktet for muslingemel var 199, hvilket indikerer potentielle problemer med slagtekroppens fedtkvalitet, hvis muslinger fodres i større mængder til slagtesvin.

2.3 Forsøg med grise

Når den kemiske sammensætning af muslingerne kendes er den næste altafgørende faktor, hvor meget af næringsstofferne der kan optages fra tarmen og dermed potentielt udnyttes af dyret. Ved sammensætning af svinefoderblandinger anvendes protein og aminosyrers standardiserede ileale fordøjelighed, der afspejler hvor mange aminosyrer der forsvinder fra indtag af foder og indtil ileum, der er den bagerste del af tyndtarmen. Den mængde aminosyrer der forsvinder indtil ileum forventes at være til rådighed for dyret, hvorimod de aminosyrer der fortsætter ned gennem blind og tyktarm omsættes af mikroorganismer til andre komponenter, der ikke kan udnyttes til proteinsyntese i dyret. Den ileale fordøjelighed korrigeres/standardiseres for de aminosyrer der kommer fra dyret selv (endogent), fra fx fordøjelsesenzymer, og som ender i det udtagne tarmmateriale fra ileum. Denne mængde der kommer fra dyret selv bestemmes ved hjælp af en foderblanding, der ikke indeholder aminosyrer (N-fri).

2.3.1 Fordøjelighedsforsøg med grise

Der blev indkøbt kastrerede smågrise (Landrace/Yorkshire x Landrace) som ved 33 kg fik indopereret en 16-mm T-kanyle/fistel i tyndtarmens bagerste del, 15 cm fra overgang til blindtarm (figur 2.4). Efter det kirurgiske indgreb gik dyrene i 12 dage inden forsøget startede. Ved forsøgets start vejede dyrene $39,3 \pm 0,4$ kg og ved afslutning $52,7 \pm 2,1$ kg. Forsøgsdesignet var et romerkvadrat, hvor grisene på skift blev fodret blandingerne i hver en uge, hvilket statistisk set giver et stærkt forsøgsdesign med få dyr. Hver proteinkilde blev bestemt med 6 dyr/gentagelser.



Figur 2.4. Ileum (sidste del af tyndtarm) fistuleret gris med pose til opsamling.

Muslingemel og muslingeensilage samt en kommerciel lakseprotein ensilage som kontrol blev tildelt i mængder således blandingerne indhold af råprotein svarede til det anbefalede minimumsniveau, hvorved betydningen af de fra dyret sekreerede aminosyrer blev minimeret. Grundet disse forsøgstekniske årsager indgik proteinkilderne i høje koncentrationer (tabel 2.1). Der var ikke nogen problemer med at få grisene til at æde de store mængder muslinger og fiskeensilage.

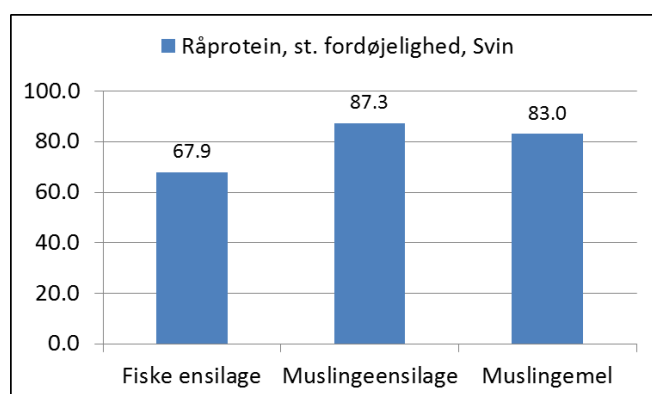
Dyrene blev fodret kl 0730 og 1530 i mængder der hver uge blev justeret til 3,8% af kropsvægten. På ugens 5. og 7. dag blev der gennem 8 timer samlet tarmmateriale op i plastikposer monteret på fistelen. Poserne

blev tømt efter maksimalt 30 minutter, lagret ved -20°C og blev blandet for de 2 dage før frysetørring og analyse.

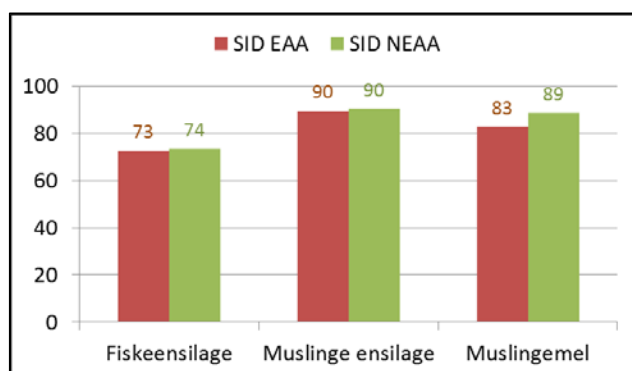
Tabel 2.1 Råvaresammensætning af blandinger til svin (g/kg diæt).

	N-fri	Muslingemel	Muslingeensilage	Fiskeensilage
Muslingemel	0	285	0	0
Muslingeensilage	0	0	700	0
Fiskeensilage	0	0	0	540
Hvedestivelse	613	606	179	345
Sukker	250	0	0	0
Cellulose	50	50	50	50
Fedt	40	20	30	35
Monocalciumphosphat	22	16	17	7
Calciumcarbonat	15	12	12	12
Chromoxid (markør)	5	5	5	5
NaCl	4	4	4	4
Vitamin and mineral mix	2	2	2	2

De standardiserede ileale fordøjeligheder af råprotein var 83% og 87% (figur 2.5) og af aminosyrer 85% og 90% (figur 2.6) for hhv. muslingemel og -ensilage. Fordøjeligheden af råprotein i fiskeensilagen var 68% og for aminosyrer 73%. Når der tænkes på, at forskellen mellem de to typer muslingeprodukter alene ligger i en tørring til mel vs. syretilsætning og lagring, synes der at være et vist potentiale i den relativt simple proces, det er at lave ensilage. Ensileringen af muslingerne vil sandsynligvis resultere i en delvis hydrolysering af proteinfraktionen til mindre peptider og frie aminosyrer, der kan absorberes uden forudgående fordøjelse af dyrets egne fordøjelsesenzymer.



Figur 2.5. Standardiserede ileale fordøjeligheder (SID) af råprotein i råvarer fodret til svin.



Figur 2.6. Standardiserede ileale fordøjeligheder (SID) af essentielle (EAA) og ikke-essentielle (NEAA) aminosyrer i råvarer fodret til svin.

Fordøjelighederne af muslinger blev sammenlignet med en kommerciel fiskeensilage, som anvendes i praksis til unge dyr, og som betragtes som et høj-værdi produkt. I fodermiddeltabellerne anføres den standardiserede ileale fordøjelighed af fiskeensilage til 92%, hvilket svarer til værdien for fiskemel af høj kvalitet. Den noget lavere fordøjelighed af råprotein og aminosyrer, der blev fundet for fiskeensilage, styrker muslingers position i markedet. Endvidere viser en gennemgang af litteraturen, at tabelværdier for de standardiserede ileale fordøjeligheder af fiskemel er væsentlig højere end de eksperimentelt fundne fordøjeligheder af fiskemel på 76-87% (Urbaityte et al., 2009; Cervantes-Pahm and Stein, 2010; Rojas and Stein, 2013). Forsøget viser dermed et klart potentiale for muslinger som proteinkilde til svin.

2.4 Forsøg med fjerkræ

Der er gennemført produktionsforsøg samt fordøjelighedsforsøg for at skabe viden om muslingers ernæringsmæssige værdi og potentiale som proteinkilde.

2.4.1 Produktionsforsøg på fjerkræ

Forsøget er blevet gennemført på Aarhus universitet, Foulum og sluttede i februar 2014. Der indgik i alt 4 forsøgsbehandlinger (tabel 2.2). Som kontrol blev indkøbt en standard økologisk æglæggerblanding (behandling A), mens forsøgsbehandlinger B-D indeholdt 4 (behandling B), 8 (behandling C) eller 12% (behandling D) muslingemel. I kontrollfoderet indgik fiskemel i foderet med 4,9%. Der blev indsat 10 Hisex white høner i 20 gulvrum (2 x 2m) ved 17 ugers alderen og i perioden fra 17-19 uger fik alle høner et økologisk præ-æglægningsfoder. Selve forsøget kørte gennem 12 uger, hvor hønerne havde en alder fra 20-31 uger. Hvert gulvrum med 10 høner repræsenterede én gentagelse per behandling, så der i alt var 5 gentagelser per behandling.

Tabel 2.2 Produktionsresultater for høner ved 20-31 ugers alderen. Resultaterne er angivet pr. høne og opgjort på hønedag basis.

Forsøgs-foder	Antal æg	Ægvægt, g	Æglægning, %	g foder/dag	Kg foder/kg æg
Fiskemel (kontrol)	63	52,8 ^{ab}	93,1	113,3	2,33
4% muslinger	65	51,7 ^b	92,5	115,6	2,44
8% muslinger	62	53,6 ^a	92,1	112,3	2,30
12% muslinger	65	53,2 ^{ab}	92,5	114,6	2,35

Fodring med forskellige niveauer af muslingemel i foder til høner fra 20-31 ugers alderen viste, at æglægningsprocenten var gennemsnitlig 92,6% og generel høj for alle forsøgsgrupper med en tendens til en

lidt højere æglægningsprocent for hønerne, der fik kontrollfoder (93,1%, ikke signifikant). Dødeligheden var overordnet lav gennem forsøgsperioden med et gennemsnit på 3%.

Den gennemsnitlige ægvægt for holdene lå mellem 51,7-53,6 g for den samlede forsøgsperiode på 12 uger og det skal tages i betragtning, at hønerne var forholdsvis unge, hvilket giver en relativ lav ægvægt for den samlede forsøgsperiode. Der var en tendens til en gennemsnitlig lavere ægvægt for hønerne på foder med 4% muslingemel sammenholdt med de andre forsøgshold og signifikant lavere end for behandling C ($P=0,045$). Foderforbruget var gennemsnitlig på 114 g/h/d, mens foderudnyttelsen lå på 2,36 kg/kg for hele forsøgsperioden. Den daglige indtagelse af methionin er vigtig for hønernes æg-produktion, da underforsyning kan påvirke bl.a. ægvægten (Elwinger et al., 2008). Den daglige indtagelse af methionin var hhv. 368 (A), 317 (B), 338 (C) og 380 (D) g/h/d beregnet for hele forsøgsperioden og dækker hønernes behov for methionin, der ifølge anbefalingerne skal ligge på minimum 300 g/h/d. Det er således ikke underforsyning med methionin, der har givet anledning til en forholdsvis lav ægvægt for hele forsøgsperioden, men kan forklares ved at forsøget er kørt med unge høner, hvor de målte parametre i de først uger af produktionsperiode normalt er lavere end når hønerne er i fuld produktion. Ægvægten i de sidste uger af forsøget steg for alle hold, som forventet med stigende alder.

Æggenes kvalitet blev vurderet ved målinger på æggeghvidens tørstof indhold, skalstyrke (N) og brudpunkt (μm), og der blev ikke fundet signifikante forskelle mellem behandlingerne (tabel 2.3). Derimod var der en betydelig effekt af behandlinger på forskellige målinger af blomfefarven. De forskellige værdier for blomfefarve viste en signifikant effekt af især foder med muslingemel, der resulterede i markant mørkere og mere rødlige blomster jo højere andel af muslingemel, der var i foderet, hvilket afspejler indholdet af forskellige carotenoider i muslingekød. Selv foder med 4% muslingemel resulterede i en blomfefarve, der var signifikant mørkere end kontrolhold A. 37 personer indgik i en forbrugerbedømmelse af æg fra de 4 forskellige behandlinger (blindtest). Alle personer skulle vurdere om de syntes, der var en smagsforskel på æggene og hvis ja, skulle de prøve at beskrive smagen som eksempelvis frisk, cremet (positivt), eller fad, tør blomme, fiskeagtig (negativt). Derudover skulle de svare på om de fandt andre forskelle mellem æggene end smag, f.eks. Skalstyrke, fasthed af hvide (normal, vandig). Som sidste punkt skulle de vurdere blomfefarven på en skala fra 1 (lys gul ~ bleg) til 10 (mørk gul/rødlig) og samtidig svare på, hvilken type æg de foretrak. Vurderingen af blomfefarven havde fin overensstemmelse med blomfefarve målt i laboratoriet, idet testpersonerne gav æggene fra behandling med 12% muslingemel en gennemsnitlig score på 9 ud af 10, mens æg fra kontrolholdet havde en score på 4,4. Generelt havde de fleste svært ved at beskrive smagen, men der var enkelte, der beskrev æg fra foder med især 12% muslingemel med mere negative termer, som eksempelvis en mere fad smag, tør æggeblomme og fiskeagtig smag. Desuden syntes de fleste testpersoner, at blomfefarven fra denne behandling var alt for mørk og rødlig, hvilket de ikke fandt tiltalende, mens de fleste fandt blomfefarven fra hold B (4% muslingemel) flot. Én testperson kunne dog bedst lide æg fra foder med 12% muslingemel, mens andre mente, at æg fra hold A (kontrolhold) og B (4% muslingemel) var bedst, fordi "de smager som æg skal", hvilket alt i alt afspejler, at forbrugere har meget forskellige holdninger til ægs blomfefarve og smag. Generelt viste testen, at skalkvaliteten var fin for alle hold, dog mente nogen, at skallen var mest hård med æg fra kontrolhold A. Forbrugertesten viste, at deltagerne havde størst præference for æg fra behandling A og B, mens de fleste synes blomfefarven fra æg med 12% muslingemel i foderet var utiltalende.

Det vil være relevant at gennemføre et forsøg med både 4 og 8% muslingemel gennem en længere periode for at vurdere effekten gennem en hel produktionsperiode.

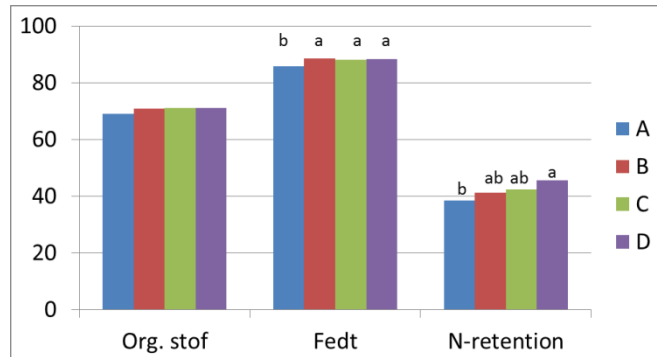
Tabel 2.3. Ægkvalitetsparametre og blommefarve.

Behandling	Æggeghvide tørstof, %	Skalstyrke, N	Brudpunkt af skal, µm	Lyshed af blomme	Rødlighed af blomme	Gullighed af blomme
Fiskemel (kontrol)	129,6	40,2	223	67,4 ^a	-3,90 ^d	49,8
4% muslinger	129,6	41,0	217	66,1 ^b	-0,82 ^c	48,3
8% muslinger	128,7	40,6	221	64,1 ^c	2,82 ^b	48,6
12% muslinger	131,9	40,3	217	62,3 ^d	4,85 ^a	48,2

2.4.2 Fordøjelighedsforsøg på fjerkræ

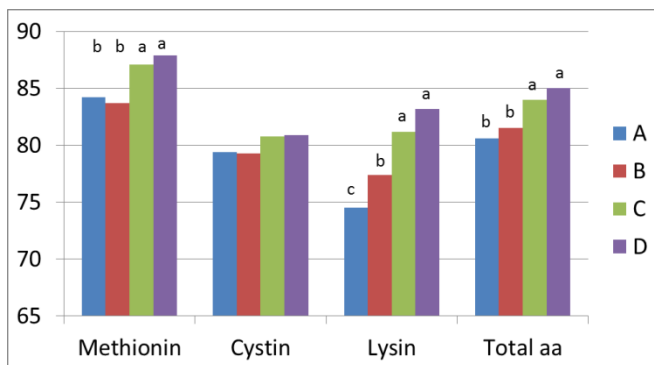
Der blev gennemført fordøjelighedsforsøg, hvor der blev udtaget 2 høner fra hvert gulvrum og indsat i 20 rum i balancebure med 2 høner per rum, der repræsenterer én gentagelse pr. behandling, dvs. at der i alt er 5 gentagelser pr. behandling. Efter en uges tilpasning til burene, blev der foretaget en total opsamling over 3 dage, hvor alt foder og gødning vejes. På opsamlingsdagene blev der placeret rene opsamlingsbakker under hvert rum, hvorefter gødningen opsamles kvantitativt 3-4 gange per døgn. Alt materiale indsamlet fra 2 høner i én gentagelse (ét rum) placeres i den samme plastbøtte og anbringes i fryser efter hver opsamling. Gødningen renses for fjer og foder inden det kommer i plastbøtterne. Foder og gødning blev analyseret for tørstof, aske, kvælstof, aminosyrer, fedt, energi, samt calcium og fosfor.

Resultaterne fra fordøjelighedsforsøget viste, at der ikke var forskel i behandlingerne for organisk stof (figur 2.7), mens fordøjeligheden af eksempelvis fedt var signifikant bedre for hold, der fik foder med muslingemel sammenholdt med kontrolholdene ($P=0.002$). Med hensyn til N-retentionen var der en forbedret retention med muslingemel, signifikant højere for foder med 12% muslingemel i forhold til værdierne for kontrolholdet.



Figur 2.7. Fordøjelighed af organisk stof, fedt og aflejring af kvælstof i fjerkræ fodret muslingemel. A, fiskemel (kontrol); B, 4% muslinger; C, 8% muslinger; D, 12% muslinger.

Fordøjeligheden af aminosyrer var overordnet signifikant bedre for hold, der fik de 2 højeste niveauer af muslingemel, mens 4% muslingemel i foderet gav signifikant højere fordøjeligheder end kontrolholdet for nogle aminosyrer, som eksempelvis lysin, mens, der var de fleste aminosyrer ikke var signifikant forskel til værdierne for kontrolholdet (figur 2.8). Resultaterne antyder, at muslingemel har en høj værdi som protein- og methioninkilde til æglæggende høner og fint kan erstatte fiskemel og delvist sojabønner med helt op til 12% i foderet.



Figur 2.8. Fordøjeligheder af aminosyrer i fjerkræ fodret muslingemel. A, fiskemel (kontrol); B, 4% muslinger; C, 8% muslinger; D, 12% muslinger.

2.5 Konklusioner om muslinger som foder

Muslingemel og muslingeensilage har et klart potentiale som højværdi og høj kvalitet proteinkilde til smågrise indenfor både den konventionelle og økologiske svineproduktion. Indholdet af aminosyrer i muslinger svarer godt til de aminosyrer, der er mangel på, når der optimeres foderblandinger. Endvidere er fordøjeligheden af både protein og aminosyrer god, og i dette forsøg væsentlig bedre end i kommerciel fiskeensilage.

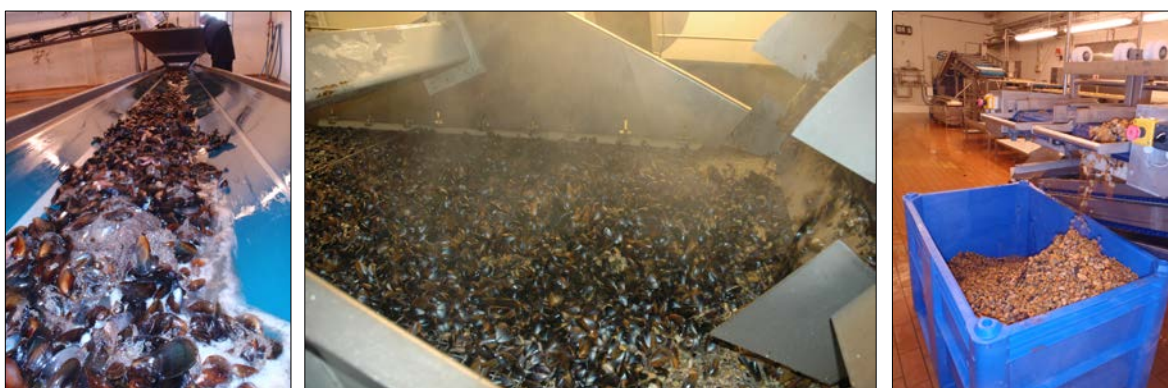
Der kan indgå op til 12% muslingemel i fjerkræfoder og samtidig opnå de samme resultater, som høner, der får foder med fiskemel. Tilsætning med forskellige niveauer af muslingemel gav ikke anledning til forskelle i æggenes kvalitet, men derimod var der signifikante forskelle i blomfefarven, idet stigende mængder muslingemel gav mørkere og mere røde blommer. Forbrugertesten viste, at deltagerne havde størst præference for æg fra kontrolbehandlingen med fiskemel og fra foder med 4-8% muslingemel, mens de fleste synes blomfefarven fra æg med 12% muslingemel i foderet var utiltalende. Fordøjeligheden af forskellige næringsstoffer viste positive effekter i foder med op til 12% muslingemel, og overordnet kan det konkluderes, at muslingemel har potentiale som proteinkilde i økologisk fjerkræfoder, samtidig med, at det også vil kunne anvendes i konventionelt foder, hvis der kan produceres tilstrækkelig store mængder og prisen kan ligge på et acceptabelt niveau.

2.6 Perspektiver for muslinger som foder

Proteinkilder af tilsvarende kvalitet anvendes i dag til unge dyr fx kyllinger og smågrise. Den andel af proteinkilderne hvormed muslingeprodukter skal konkurrere udgør omkring 70.000 tons til det konventionelle marked. Det tilsvarende økologiske marked udgør omkring 22.000 tons. Markedet har dermed en størrelse, der sandsynliggør plads til meget store mængder muslinger. Særlige perspektiver er der for muslinger i økologisk fjerkræ- og svineproduktion, da disse dyregrupper kræver et højt proteinindhold i foderet. Fra og med 2012 satte EU krav om at økologiske husdyr skulle fodres med 100% økologisk foder. Dette er der dispenseret fra til og med 31/12 2014 med tilladelse til at inkludere 5% ikke-økologiske råvarer i økologiske foderblandinger. Der arbejdes dog pt i EU-regi på at videreføre dispensationen. Grunden til dispensation fra 100% økologiske foder er netop at det ikke er muligt at tilvejebringe tilstrækkelige økologiske fodermidler. Dertil kommer at prisen på økologiske fodermidler er betydeligt højere end fodermidler på det konventionelle marked.

3. Produktion af mel

En væsentlig udfordring for at gøre produktion af muslingemel eller muslingeensilage rentabelt er, om omkostningerne til adskillelse af kød fra skal kan reduceres. Processerne er i de eksisterende produktionsanlæg udviklet med henblik på at producere fiskede muslinger til konsum, fx i form af løsfrosne muslinge-kødklumper eller til hermetik. Det er således anlæg designet til at håndtere store, tykskallede muslinger og med store kvalitetskrav til produktet, både hvad angår ensartethed og evt. forekomst af skalrester. Dermed er der også et vist spild i processen, fx rester af kød og uensartede muslinger. Da fiskede muslinger har en forholdsvis lav pris er et vist tab acceptabelt. Til produktion af mel vil der ikke være krav til kvaliteten også små skalfraktioner vil kunne accepteres, derimod vil det være nødvendigt med stor effektivitet i opsamlingen af alt det forarbejdede materiale for at sikre maksimalt udbytte og lavest mulig pris.



Figur 3.1. Muslingerne kommer ind i fabrikken bliver kogt og afskallet

Et alternativ er at processere muslingerne hele, det vil sige tørre og formale både skal og kød med henblik på at lave et produkt rettet mod husdyr, hvor den relativt store uorganiske fraktion i form af skallerne ikke er problem, fx fjerkræ. Forarbejdning af begge type produkter blev testet.

3.1 Adskillelse af kød og skal

Der blev høstet muslinger til leverance til Vilsund Blue a/s ved 3 tilfælde:

1. I november 2013 blev der leveret 10 t blåmuslinger som ikke på forhånd var declumped, det vil sige at de enkelte adskilte fra hinanden, eller afbysset, det vil sige at byssustråde ikke var skilt fra muslingerne;
2. I december 2013 hvor 10 t muslinger blev leveret declumped og manuelt afbysset;
3. I maj 2014 hvor 3 t muslinger blev leveret efter at være maskinelt declumped af høstbåden, som blev hyret hos Seafjord Limfjord, en kommerciel muslingeopdrætter.

Under den efterfølgende forarbejdning på Vilsund Blue blev sammensætningen af prøverne og de resulterende mængder monitoreret fra råmaterialet ved aflevering, efter afbysning og ved afslutning af processen, herunder opsamling af affald. Ligeledes blev omkostningerne i de forskellige trin i forarbejdningen beregnet, inkluderende timeforbrug, elektricitet, vand mm.

Ved første leverance (a) var muslingerne ikke declumped, hvilket forårsagede betydelige problemer i forarbejdningen, idet der blev fundet klumper af muslinger på op til 5-10 kg. Klumperne satte sig fast i

maskineriet og derudover betød klumperne, at kødet havde svært ved at falde ud af muslingerne efter kogning og følgelig blev bortsorteret som affald. Endelig betød store mængder byssustråde, at maskineriet ofte stoppede, fordi trådene satte sig fast i lejer og transportbånd. Den videre forarbejdning stoppede efter behandling af ca. 4,5 t muslinger. På dette tidspunkt var der opnået 600 kg kød svarende til udnyttelse på 13%. Forsøget indgår ikke i de videre beregninger.

Ved anden leverance (b) af muslinger blev halvdelen af muslingerne processeret efter, at DSC havde declumpet og afbysset muslingerne. Før afbysning bestod høsten af ca. 90% muslinger og ca. 10% byssus og andet materiale så som skaller og søstjerner. Afbysningen fjernede ca. to-tredjedele af byssus før forarbejdningen i Vilsund Blue, men ikke alt byssus. Der var i affaldsdelen efter processering i produktionsanlægget en del byssus, men den væsentligste affaldskomponent var intakte muslinger. Af affaldet udgjorde muslinger således 70%. Af den samlede produktionsmængde udgjorde kødaffaldet ca. 5% af alt anvendeligt materiale, og vil hvis udnyttet øge udbyttet tilsvarende. Anlægget kan altså i den eksisterende konfiguration ikke håndtere alle muslingerne, hvilket reducerer udbyttet. De 5 t muslinger resulterede i 1050 kg kød eller et udbytte på 21%, hvilket er mindre end forventet alene beregnet på kødprocenten i muslingerne. Det er ikke fuldstændig klarlagt, hvorfor en så stor del af muslingerne havner i affaldsfraktionen, men skyldes delvis muslingernes størrelse. Endvidere blev der stadig tabt kogt muslingekød i flere led i produktionen fra muslingeklumper, der fraktioneres under behandlingen.

I den sidste testkørsel (c) var op til 20% af det leverede materiale andet end muslinger, fortrinsvis hydroider, søstjerner og byssus. I forarbejdningen var anlægget blevet indstillet, så der kun blev frasorteret få intakte muslinger svarende til 5% af affaldet. Den lave andel af intakte muslinger kan også være forårsaget af, at muslingerne i maj generelt er større end i november. Til gengæld bestod over halvdelen af affaldet af kogt muslingekød i form af dele af muslingeklumper, der er gået i stykker under behandlingen (figur 3.2). Følgelig var udbyttet af kogningen kun på 351,5 kg kød svarende til 16%. Den del af affaldet, der bestod af andre organismer som søstjerner, søpunge, krabber kan på lige fod med det fraktionerede muslingekød indgå i en melproduktion, men er ikke her medregnet i udbyttet.



Figur 3.2. Frasorteret muslingekød og affald

Omkostningerne til adskillelse af muslingerne fra skallen kan inddeles i timeløn til opstart, kogning og rengøring af fabrikken på omkring 2500 kr. i timen, strøm, el og vand på ca. 500 kr. i timen og afskrivning af maskiner på ca. 200 kr. i timen.

På baggrund af forsøgene kan det beregnes, at omkostningerne ved at producere muslingekød ligger på mellem 2,71-4,59 kr. kg^{-1} med den opsætning, som produktionsudstyret har på Vilsund Blue a/s. Man kan af

flere årsager forvente, at omkostningerne kan sænkes. Først og fremmest er de processerede mængder forholdsvis små og beregnet til test. Ved en opskalering vil produktionsomkostningerne alene af volumenmæssige årsager kunne sænkes. Dernæst har mængderne ikke givet tilstrækkeligt incitament til at for alvor ændre på udstyr og procedurer og der har ikke været midler til at investere i mere optimalt udstyr eller egentlige ombygninger. Samlet kan der ske en optimering af produktionen, der skønsmæssigt vil kunne øge udbyttet med op til 50-60%.

3.1.1 Beregning af omkostninger ved melproduktion

Som udgangspunkt for beregninger af omkostningerne til muslingemel er anvendt en pris på ca. 1,10 pr. kg muslinger for levering ved kajen. Data er beregnet på baggrund af et kompensationsopdræt i Skive Fjord og er budgetøkonomiske priser inkluderende driftsomkostninger og afskrivninger (Petersen et al 2013) og er et gennemsnit af omkostningerne ved høst af hhv. 900 t pr. anlæg i december og 1100 t pr. anlæg i maj. Ifølge Bent Svenningsen på Vilsund Blue a/s viste forsøgene beskrevet ovenfor, at ved optimering af processerne og kørsel af større mængder muslinger koster selve adskillelsen af skal fra kød i kogeprocessen 3.200 kr. pr. 10 t muslinger, for muslinger der er declumped inden de kommer ind i fabrikken. Denne omkostning inkluderer også afskrivning af anlægget. Med udgangspunkt i melproduktionen under forsøgene med dyrefoder vil mel med optimalt vandindhold til at gøre det lagerstabil udgøre 33% af vådvægten af det kogte kød. Driftsomkostningerne ved indtørring af muslinger kan beregnes til 0,80 kr. pr. kg afdampet vand ved brug af en diskørrer (se nedenfor). Der er i denne omkostning ikke medregnet afskrivning af tørringsudstyr, som vil afhænge af dimensionering af anlægget. I Tabel 3.1 er priser pr. kg mel under antagelse af henholdsvis et udbytte på 26% og 33% for declumped muslinger og ved en forarbejdning af 10 t muslinger.

Tabel 3.1. Omkostninger ved forarbejdning af 10 t muslinger til mel ved adskillelse af kød fra skal i kogeprocesser.

	26% udbytte (2600 kg kød, 858 kg mel)	33% udbytte (3300 kg kød, 1089 kg mel)
Muslinger	11.000 kr.	11.000 kr.
Kogning og adskillelse	3.200 kr.	3.200 kr.
Tørring	1.394 kr.	1.769 kr.
Omkostninger pr. 10 t muslinger	15.594 kr.	15.969 kr.
<i>Pris pr. kg mel</i>	<i>18,17 kr. kg⁻¹</i>	<i>14,66 kr. kg⁻¹</i>

Priserne i Tabel 3.1 inkluderer ikke transportomkostninger ved fx at fragte muslingerne fra havn til fabrik eller ved at fragte kød til melfabrik. Produktion i stor skala vil dog under alle omstændigheder fordre, at hele forarbejdningen fra hele muslinger til mel samles på en produktionslokalitet.

3.2 Produktion af mel af hele muslinger

Som et alternativ til de stadig forholdsvis omkostningstunge arbejdsgange med at separere skal fra kød blev det undersøgt, om muslingerne kan tørres hele og i samme arbejdsgang kværnes ved at tørre dem i en disktrørrer. En disktrørrer (disc dryer) består af en række lodretstående tallerken-formede varmegivere, som roterer i et rørformet hus. På tallerknerne er der monteret såkaldte "medbringere", som sikrer, at produktet ledes frem i tørreenheden. Tallerkner og rør opvarmes med damp eller olie og opererer som regel ved ca. 7 bar damp, hvilket resulterer i en temperatur på 162-163°C. En luftstrøm ledes henover tallerkner og produkt for at fjerne afdamp. Disktrørrer bruges også til tørring af fiskemel og er den mest sandsynlige maskine til formålet. Der blev gennemført tre forsøg i en mini disktrørrer på Haarslev Industries forsøgsanlæg.

1. Muslingerne blev inden tørring knust med en hammer og efterfølgende tørret. Der blev udtaget prøver efter 10 og 23 min. Herefter blev en ny portion knuste muslinger tilført og forsøget kørte i yderligere 19 min. I alt 3850 gr. muslinger (vådvægt) blev tørret ned til 2%, hvilket er en alt for kraftig tørring, men tørringen gik hurtigere og lettere end forventet. Udbyttet blev efter 42 min på 33%, hvilket er betydeligt lavere end forventet, da produktet også indeholder skal.
2. Muslingerne kom hele i disktrørreren og der blev udtaget prøver efter 5, 10 og 15 min. Der blev tørret ca. 2400 gr. muslinger (vådvægt), som efter 15 min. tørring havde et vandindhold på 14,3%, hvilket er lidt for højt til lagerstabilitet. Udbyttet blev på 39% og muslingerne var i tilstrækkelig grad blevet knust til, at det færdige produkt kan bruges som foder.
3. I det forsøg blev samme procedurer fulgt som i forsøg 2, dog blev tørretiden forlænget til 20 min. Der blev tørret 2465 gr. muslinger (vådvægt) til et vandindhold på 6,3%, hvilket er tilstrækkeligt til lagerstabilitet, og et udbytte på 36%.

På baggrund af forsøgene er det vurderet, at med et ønsket vandindhold på max. 10% kan man opnå et udbytte på 38% af vådvægten af de ikke declumpede og ikke afbyssede muslinger. Driftsomkostningerne til tørring består af energiomkostninger til produktion af damp svarende til ca. 31 kr. pr. 100 kg muslinger samt ca. 19 kr. pr. 100 kg muslinger til strøm, arbejds løn mm, hvilket giver en samlet omkostning på ca. 50 kr. pr. 100 kg muslinger. Anvendes en produktionspris af muslingerne på 1,10 kr. pr. kg giver det en produktionspris på 4,20 kr. pr. kg mel ved et udbytte på 38%. Dertil skal lægges transportomkostninger og afskrivninger på et produktionsanlæg. Ved nybygning vil et fuldt operationsklart anlæg koste i størrelsesordenen 30-35 mio. kr. inkl. bygning og tørreanlæg.

I de gennemførte forsøg har det resulterende tørrede produkt været meget lavt i forhold til forventet og <50% af vådvægten af både kød og skal. I sammenligning har linemuslinger ved de såkaldte kogeprøver ofte et kødindhold på 30-45% for små muslinger. Ved en kogeprøve koges 1 kg muslinger i 1 min. under tryk og efterfølgende vejes kødet og udtrykkes i % af den samlede vægt (1 kg). Selvom de to mål ikke er sammenlignelige, er det overraskende, at den samlede tørvægt er så lav og kunne indikere, at der undervejs i processen tabes materiale. Yderligere indgår byssus i processen, hvilket det normalt ikke gør ved andre beregninger af udbytte, hvor byssus regnes for affald. Byssus øger den samlede mængde af "våd materiale" med en høj andel vand (i modsætning til skallen), og vil derfor ved tørring tabe relativt mere vægt end skallen og samlet set nedsætte udnyttelsen sammenlignet med en tørring udelukkende af skal og kød. På den anden side består byssus primært af proteiner og kan være et værdifuldt tilskud til slutproduktet.

Der er ikke lavet undersøgelser af et produkt, hvor hele muslinger inkl. byssus tørres og kværnes som beskrevet ovenfor, og det er derfor ikke muligt at afgøre om produktets potentiale og mulige pris på markedet. Det vurderes, at produktet vil være egnet som fodertilskud til æglæggende høner (Sanna Steinfeldt), men en karakterisering af produktet er nødvendig for at forfølge dette spor yderligere.

3.3 Perspektiver for produktion af mel

Undersøgelserne viser, at uanset hvilken form for mel (uden eller med skal), der bliver produceret, vil den væsentligste del af omkostningerne ved produktionen være omkostningerne til dyrkning af muslingerne, idet disse udgør ca. 68-80% af de samlede omkostninger til produktion af mel. Det betyder også, at det vil være omkostninger til muslingeproduktion, der primært afgør om muslinger kan gøres egnede som foderingrediens. De i analyserne anvendte estimater af produktionsomkostningerne er forholdsvis lavt sat og beregnede på baggrund af masseproduktion af muslinger uden krav til kvalitet i form af størrelse eller ensartethed. Det er derfor ikke sandsynligt, at der på de eksisterende produktionsfaciliteter for blåmuslinger kan etableres en lønsom produktion alene på kommercielle vilkår. Hvis produktionen af muslinger derimod kan inddrages som et virkemiddel, enten i forhold til at opnå god økologisk tilstand i fjorde og kystnære farvande, eller som kompensationsopdræt i forbindelse med havbrugsopdræt af fisk, hvorved der enten kan betales for hele eller dele af produktionsomkostningerne, vil prisen på melet falde til et niveau, hvor det er sammenligneligt med priser på andre foderingredienser af tilsvarende kvalitet. Dertil kommer, at det vil være muligt at fremstille melet så det møder kravene til en Ø-mærkning uden i betydende grad at øge produktionsomkostningerne.

4. Optimering af dyrkningsteknikker

Dyrkning af kompensationsmuslinger eller fodermuslinger er karakteriseret ved ingen mellemhåndtering samt tidlig høst for at spare omkostninger. Ved at undgå mellemhåndtering og høste tidligt mindskes arbejdsforbruget og dermed omkostningerne. Imidlertid er der stadig en arbejdstung proces i form af opbøjning, der fordyrer opdrættet. Bøjer er valgt som opdriftsmiddel i konventionelt opdræt, fordi det er muligt at nedsænke bøjer og liner ved fx isdække og fordi godkendt dyrkningspraksis kræver nedsænkning i dele af året. Imidlertid viste analyser ved kompensationsopdræt af muslinger, at langt den væsentligste del af omkostningerne forbundet med dyrkning af muslinger uden mellemhåndtering udgøres i arbejdet forbundet med opbøjning og evt. nedbøjning om vinteren (Petersen et al 2014).

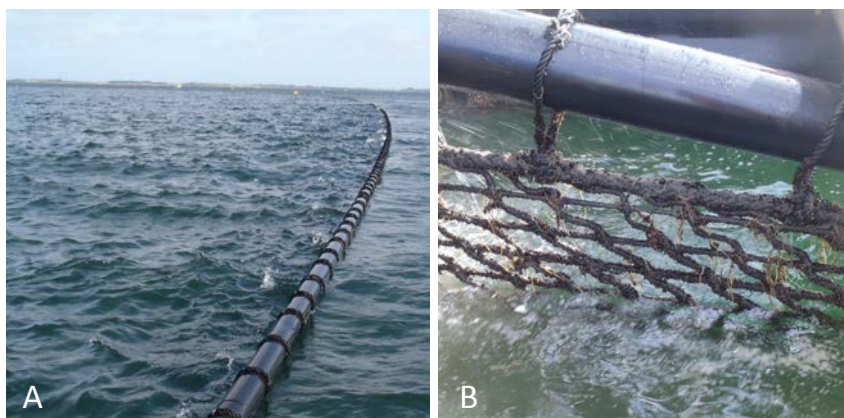
Et alternativ til de i dag anvendte metoder er brug af dyrkning på net ophængt under rør, som fx det norske SmartFarm™ system. Tidligere forsøg i Limfjorden har vist, at dette system ikke er egnet til dyrkning af konsummuslinger i fjorde som Limfjorden, bl.a. fordi nettene giver for stor tæthed af muslinger og fordi undersænkning af rørene ikke har kunnet lade sig gøre (Tørring et al 2008). Ved for store tætheder af muslinger vokser de ikke tilstrækkeligt. Dette kan blive et problem ved opdræt til konsum, men ikke nødvendigvis til opdræt af muslinger til foderbrug. Et andet alternativ er udvikling af et nyt opdriftsmiddel, der som rør ikke kræver yderligere tilførsel af opdrift, men som forholdsvis simpelt kan undersænkes, hvorved det bliver muligt med en længere vækstperiode henover vinteren og det efterfølgende forår. To forskellige systemer blev testet for at mindske prisen på muslinger produceret i Limfjorden: SmartFarm™ og specielt udviklede bøjer oppusteligt, forstærket PVC til brug for traditionelle opdrætsmedier, fx nylonvævede bændler.

4.1 Rør- og netbaserede opdrætsanlæg

SmartFarm™ opdrætsanlæg består af en række enkeltstående enheder, der hver består af et luftfyldt plastikrør som permanent opdrift, fra hvilket der hænges net i stort set rørets fulde længde. Det luftfyldte plastikrør kan ikke undersænkes på kontrolleret vis og er relativt stift, selvom det kan give sig i relation til vandstrømme og vindpåvirkning (se Figur 4.1 og 4.2). EasyFarm^R (Murre Techniek b.v.) har udviklet et tilsvarende system, der primært adskiller sig, hvad angår høstmetoderne.



Figur 4.1 Skematisk tegning af SmartFarm system.



Figur 4.2 SmartFarm™ system i Limfjorden (A). Nærbillede af Net til opsamling af muslingeyngel (B)

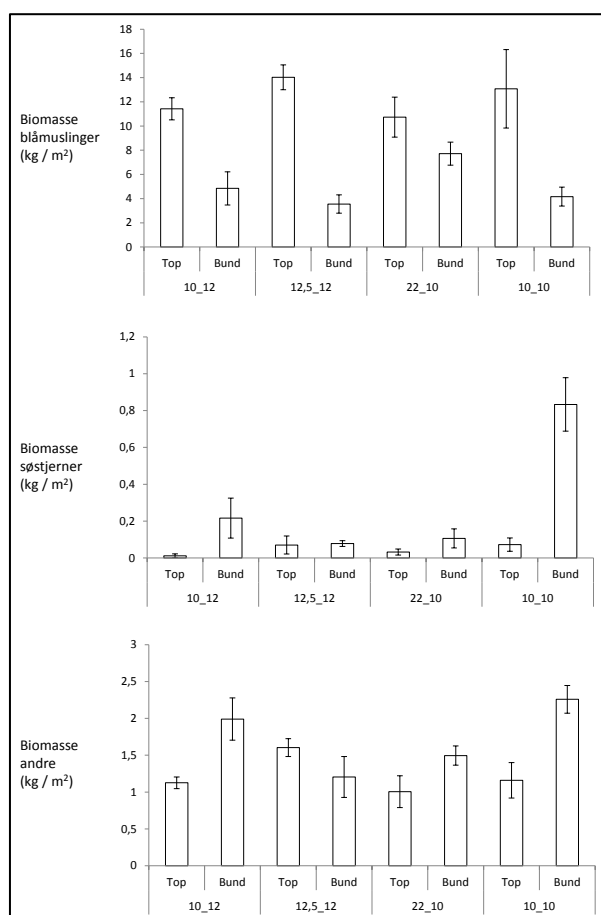
SmartFarm™ systemet blev testet på Dansk Skaldyrcenters opdrætsanlæg i Fursund i Limfjorden, hvor det succesfuldt blev etableret 15. maj 2012. Der blev på den udsatte enhed testet for 4 nettyper: a) 10 x 10 cm maskevidde, rebtykkelse 12 mm, 2,8 m højt; b) 10 x 10 cm maskevidde, rebtykkelse 10 mm, 2,8 m højt; c) 12,5 x 12,5 cm maskevidde, 2,8 m højt, rebtykkelse 12 mm; og d) 22 x 22 cm maskevidde, rebtykkelse 10 mm, 2,0 m højt og gennemført prøvetagning 31. juli, 31. august og 8. november 2012. Prøverne blev taget fra hhv. top og bund af de enkelte net og analyseret for biomasse og individuel skallængde.

Systemet fungerede tilfredsstillende i den forstand, at der ved visuel inspektion i slutningen af juni var god og ensartet dækning af yngel på nettene. Imidlertid var der i de nederste dele af de 2,8 m høje net meget stor grad af biofouling af søpunge. Yderligere problemer i produktionsfasen var store forekomster af søstjerner, der er bundslået på nettene efter muslingerne. Endelig betyder vind- og bølgefórhóldene i Limfjorden, at SmartFarm™ anlæggene bliver udsat for en meget stor fysisk pávirkning, som sammen med den store biomasse på nettene resulterede i en række havarier og skader. Ud fra et rent driftsperspektiv, vil det således en række modifikationer og forstærkninger at anvende SmartFarm™ anlæg i Limfjorden.

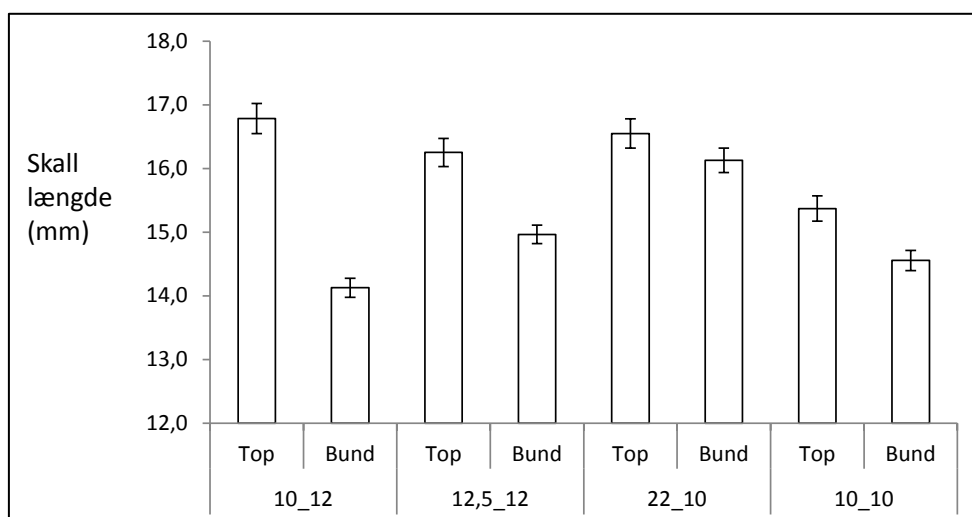
4.1.1 Biomasse og længde af muslinger

Prøvetagningen på nettene er forbundet med en del metodiske udfordringer, fordi det i sagens natur ikke er muligt at løfte nettene for en prøvetagning. Den skal derfor foregå ved hjælp af dykker, der skal skrabe et udsnit af nettene fri for alt biologiske materiale. På især små maskestørrelser er dette forbundet med en betydelig usikkerhed og prøvetagningen i juli blev primært brugt til at udvikle metoden. For alle nettyper og uanset placering steg den gennemsnitlige biomasse af blåmuslinger fra ca. 9 kg m⁻² i august til ca. 22 kg m⁻² i november. Det svarer i stor træk til udbyttet på bændler dyrket med langline-baserede opdrætsanlæg.

Prøverne fra august blev udvalgt til en nærmere analyse af forskelle mellem net og på de enkelte net, da dette datasæt er det mest komplette. Analyserne viste, at nettype ikke havde en signifikant effekt på biomasse af muslinger, idet der på alle net i august var en gennemsnitlig biomasse på 8-9 kg m⁻². Derimod havde placering på nettet en effekt, idet der var en signifikant større biomasse af muslinger i de øvre dele sammenlignet med bunden af nettene ($F_{1,16}=44,12$, $p<0,001$, Figur 4.3). Således var der 30% større biomasse af muslinger i den øverste del af nettet for maskevidde 22 cm, mens der var 2-4 gange så stor biomasse pr. m² i toppen sammenlignet med bunden på de andre net. For individuel længde af muslingerne var der både forskel mellem net ($F_{3,2392}=17,17$, $p<0,001$, Figur 4.4), med muslingerne på 22 cm maskevidde nettene som større end alle de andre nettyper, og af placering på nettene ($F_{1,2392}=88,84$, $p<0,001$, Figur 4.4), hvor muslingerne i den øverste del var signifikant længere end muslinger i den nederste del af nettene.



Figur 4.3 Gennemsnitlig biomasse (\pm standardafvigelse) af blåmuslinger, søstjerner og andet fouling (bysus, søpunge mm) på den øvre og nedre del af nettet efter 3 måneder i Fursund.



Figur 4.4 Gennemsnitlig skallængde (mm \pm standardafvigelse) af blåmuslinger fra øvre og nedre del af nettet efter 3 måneder i Fursund.

Foruden muslinger blev også biomassen af søstjerner og foulingorganismer opgjort. Søstjerner varierede mellem nettyper ($F_{3,16}=13,1$, $p<0,001$, Figur 4.3), med den største forekomst af søstjerner på nettene med maskevidde 10 cm og rebtykkelse 10 mm og mindst på nettene med maskevidde 22 cm, hvilket er sammenfaldende med, at der på denne nettype blev fundet den største samlede biomasse af muslinger. Der var ligeledes signifikant større biomasse af søstjerner i bunden af nettene sammenlignet med toppen ($F_{1,16}=29,26$, $p<0,001$, Figur 4.3). Også med placering på nettene var der generelt sammenfald mellem stor biomasse af søstjerner og lav biomasse af muslinger. For anden biomasse, det vil sige primært foulingorganismer som søpunge, var billedet mindre entydigt om end der var signifikant større anden biomasse på de nederste dele af nettene ($F_{1,16}=11,75$, $p=0,003$, Figur 4.3).

4.1.2 Høst fra net

Til brug for høst af muslinger på nettene blev der gennemført forsøg med både SmartFarmTM-og EasyFarm^R-høstmaskiner. En SmartFarmTM-høstmaskine blev lejet i samarbejde med SmartFarmTM og Hjarnø Havbrug. Høstmaskinen kræver en løfthøjde på 6 m for at kunne operere på de enkelte rør, hvilket kræver større både end normalt for opdrættere og Foreningen MuslingeErhvervets båd m/s Limfjorden blev hyret til opgaven (Figur 4.5). Det viste sig meget vanskeligt at operere høstmaskinen i forsøget. Dels var der tekniske problemer med maskinen, hvilket ikke i sig selv diskvalificerer konceptet, men navnlig viste det sig meget vanskeligt at høste ved selv moderat vind på 6-8 m s⁻¹. Ved disse vindhastigheder, som er normale for Limfjorden, var det meget vanskeligt at manøvrere maskinen og selve høsten blev meget langvarig og på ingen måde effektiv.



Figur 4.5. Smartfarm-høstmaskine (A) og EasyFarm^R-høstmaskine (B).

Som alternativ blev der lejet en EasyFarm^R-høstmaskine hos Musholm Lax som blev testet på et tilsvarende anlæg i Sallingsund. Maskinen viste sig udelukkende at kunne operere på vanddybder >6-7 m, hvilket er dybere end en del af opdrætsanlæggene i Limfjorden og maskinen var så vanskelig at operere under forholdene i Limfjorden, at det ikke vil være en økonomisk rentabel metode.

Resultaterne fra høstforsøgene er sammenfaldende med erfaringer fra opdrættere i danske farvande, der bruger røraserede opdrætssystemer. Således overvejer Hjørnø Havbrug og Musholm Lax at investere i en mindre høstmaskine ligeledes udviklet af SmartFarmTM, nemlig en såkaldt Smartcat, der er uafhængig af ledsagende skibe og som er væsentligt enklere at operere.

4.1.3 Konklusion

Netaserede opdrætssystemer kan producere rimelige biomasser i Limfjorden. Imidlertid er rekrutteringen på nettene meget variabel, specielt i forhold til vanddybde med store biomasser af prædatorer og biofouling i de nederste dele af nettene. Endvidere medfører de særlige forhold i Limfjorden med generelt lave vanddybder og korte bølger, at udstyret påføres stort fysisk stress og at det er vanskeligt at høste med det eksisterende udstyr. Det er således ikke sandsynligt, at det vil medføre en mere kosteffektiv produktion at overgå til rør- og netaserede opdrætssystemer i Limfjorden.

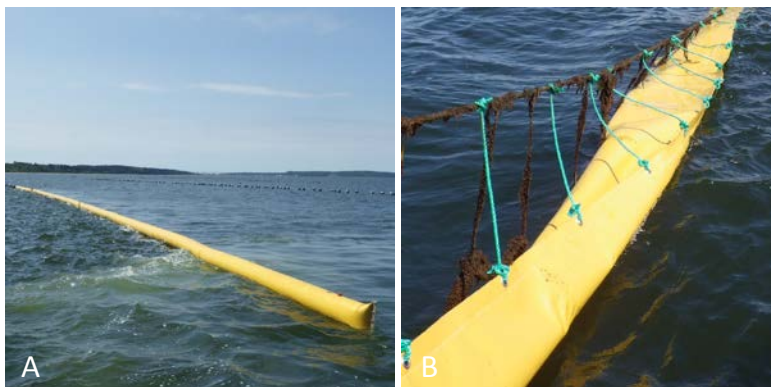
4.2 Alternativt opdriftssystem

Det er blevet vist, at på- eller afmontering af bøjer er den største enkelt udgift ved produktion af muslinger i opdræt uden mellemhåndtering (Petersen et al 2013), som det vil være tilfældet ved produktion med henblik på at lave muslingemel. Bøjer monteres på linerne i takt med, at muslingerne vokser og langlinerne derved bliver tungere, for at forhindre at muslingerne synker til bunden. Bøjer tages af linerne i forbindelse med fx fare for isdække for på kontrolleret vis at sænke linerne under overfladen, men holde dem over bunden. Hvis der kan udvikles alternative opdriftsmidler, der på den ene side er fleksible og fx kan nedsænkes kontrolleret og passer til produktionsudstyret, og på den anden side kan spare arbejdsgange, vil omkostningerne kunne reduceres.

Udgangspunktet for et nyt system var et oppusteligt PVC-system med følgende kravspecifikationer:

- Holdbart materiale med minimum levetid på 2 år;
- I stand til at modstå mekanisk påvirkning fra høstmaskiner, bølger mm, påvækst af rurer og andre foulingorganismer, samt påvirkning fra måger og andre fugle;
- I stand til at løfte 15 t muslinger pr. 200 m længde;
- Have ensartet opdrift uanset om belastningen er uensartet;
- Kan holde på vanddybder på op til 10 m;
- Kan bruges af standardbåde til opdræt af muslinger i Limfjorden;
- Kunne undersænkes kontrolleret og efterfølgende hæves, begge operationer gennemført fra overfladen i passende intervaller langs langlinen.

En del forskellige løsninger blev undersøgt indtil, opgaven blev lagt i hænderne på Centre Catalá del Plástic, Spanien. På baggrund af en længere konstruktionsfase blev der i maj 2014 leveret 4 prototyper (2 x 10 m og 2 x 20 m lange bøjer) lavet af forstærket PVC til test på DSC (Figur 4.6). Bøjerne blev monteret i juni 2014 på DSC anlæg i Sallingsund på eksisterende langliner som erstatning for konventionelle bøjer. Bøjerne blev overvåget for holdbarhed, opdrift mm samt udsat for test med høst og undersækning.



Figur 4.6. Nyudviklet oppustelig bøjesystem i Limfjorden (A). Nærbillede af bøjesystem med monteret line til opsamling af muslinger (B).

Fra bøjerne blev sat på langlinerne til oktober 2014 var der få tegn på betydende slitage på materialet, som således har vist sig meget holdbart. I løbet af perioden var der to havarier. En af bøjerne revnede under montering, hvor den gik op i sømmen. En anden bøje sank i løbet af perioden, idet den lakkede vand ved et hul ved et af de påmonterede øjne til fastgørelse af langlinen. Den slags svagheder kan forventes på prototyper og indikerer ikke i sig selv, at materialevalg eller montering er uholdbare. Ved test under almindelige arbejdsgange som høst og vedligehold af linerne viste bøjerne sig operationsdygtige på de både, der standard anvendes i Limfjorden til opdræt af muslinger. Imidlertid var bøjerne umulige at nedsænke kontrolleret, fordi den udtømte luft samledes i den ene ende af bøjerne og resulterede i en skæv nedsænkning.

Samlet set bestod materialet og princippet med længere oppustelige bøjer i forhold til daglig drift og høst, men det aktuelle design dumpede, fordi det ikke kan nedsænkes. Der er i samarbejde med Centre Català del Plàstic udført et forbedret design, hvor bøjerne er opdelt i flere sektioner i bøjernes horisontale udstrækning. Der har imidlertid ikke været midler eller tid til at teste det forbedrede design. Det må derfor konkluderes, at det ikke har været muligt at udvikle metoder, der kan optimere produktionen og sænke omkostningerne til produktion af muslingerne.

4.3 Perspektiver for opdrætsmetoder

Det har ikke umiddelbart været muligt at dokumentere effektivisering af opdræt og lavere produktionsomkostninger ved hverken netbaserede opdrætssystemer eller alternative opdriftsmidler. Det ændrer imidlertid ikke på, at den væsentligste del af omkostningerne ved masseproduktion af muslinger til brug som foderingrediens er knyttet til opdrift af liner eller net. Ligeledes vil den potentielle visuelle forurening i forbindelse med opdræt af muslinger vil dog stadig være en barriere for erhvervets omdømme i produktionsområderne og dermed for erhvervets potentielle udbredelse. Der er således stadig et behov for at udvikle opdriftssystemer, som fleksibelt kan nedsænkes kontrolleret.

5. Referencer

- Cervantes-Pahm, S. K., & Stein, H. H. 2010. Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme-treated soybean meal and in soy protein isolate, fish meal, and casein fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 88: 2674-2683.
- Elwinger, K., Tufvesson, M., Lagerkvist, G. & Tauson, R. 2008. Feeding layers of different genotypes in organic feed environments. *Brit. Poultry Sci.*, 49: 654-665.
- Hammershøj, M. & Steinfeldt, S. 2005. Effect of Blue Lupin (*Lupinus angustifolius*) in organic layer diets and supplementation with foraging material on egg production and some egg quality parameters. *Poultry Sci.*, 84, 723-733.
- Petersen, J.K., Timmermann, K., Holmer, M., Hasler, B., Göke, C. & Zandersen, M. 2013. Miljømuslinger – muslinger som supplerende virkemiddel. Notat fra DCE Nationalt Center for Havmiljø og Energi, Aarhus Universitet, 38 pp.
- Petersen, J.K., Hasler, B., Timmermann, K., Nielsen, P., Tørring, D.B., Larsen, M.M. & Holmer, M. 2014. Mussels as a tool for mitigation in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 82: 137-143.
- Rojas, O. J. & Stein, H. H. 2013. Concentration of digestible, metabolizable, and net energy and digestibility of energy and nutrients in fermented soybean meal, conventional soybean meal, and fish meal fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 91: 4397-4405.
- Tørring, D., Gramkow, M., Holtegaard, L.E., Petersen, J.K., Dolmer, P., Bækgaard, A. & Larsen, K.L. 2008. Nye opdræsteknikker. Nykøbing Mors. Dansk Skaldyrcenter 77 pp. (elektronisk). <http://www.skaldyrcenter.dk/filer/Afsluttende%20rapport%20Nye%20OT.pdf>
- Urbaityte, R., Mosenthin, R., Eklund, M., Piepho, H. P. & Rademacher, M. 2009. Determination of standardized ileal crude protein and amino acid digestibilities in protein supplements for piglets. *Animal* 3: 1696-1705.